Journal of Agroecology
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

Research Article
Vol. 14, No. 1, Spring 2022, p. 53-68

Effects of Organic Fertilizers on Essential Oil Composition and Yield in Sustainable Cultivation of Hyssop (*Hyssopus officinalis* L.)

M.T. Darzi[1*], B. Sadeghi Nekoo[2] and M. Haj Seyed Hadi[3]

Received: 31-01-2020
Revised: 15-12-2020
Accepted: 14-02-2021
Available Online: 15-06-2022

How to cite this article:
Darzi, M.T., Sadeghi Nekoo, B., and Haj Seyed Hadi, M., 2022. Effects of organic fertilizers on essential oil composition and yield in sustainable cultivation of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.). Journal of Agroecology 14(1):53-68.
DOI:10.22067/agry.2021.20242.0

Introduction

Organic fertilizers such as compost and vermicompost improve soil's physical and chemical properties that enhance beneficial microbe's activity in soil and nutrient availability by plants. Nitrogen-fixing bacteria such as *Azotobacter* and *Azospirillum* as biofertilizers also have the ability of nitrogen-fixing and release phytohormones which could stimulate plant growth, absorption of nutrients, and the photosynthesis process. Production of medicinal plants with using from biofertilizers leads to an increase of the quantity and quality of active substances such as essential oil. Hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) is a perennial herb that grows wild and is cultivated in temperate regions of Asia, Europe, and America. The essential oil of hyssop is widely used as a traditional drug in some the parts of Asia and Europe to treat respiratory diseases. Hyssop is also used in food, pharmaceutical, flavor, and cosmetic industries throughout the world. The main constituents of hyssop essential oil have been reported as pinocamphone, pinocarvone, and phellandrene.

Materials and Methods

In order to study the effects of compost, vermicompost, and nitrogen-fixing bacteria as sustainable nutrient management on the essential oil composition of *Hyssopus officinalis*, an experiment was conducted based on a randomized complete block design with eight treatments and three replications at the research field of Agriculture Company of Ran in Firouzkooh of Iran during 2012. The treatments were 20 $t.ha^{-1}$ compost, 12 $t.ha^{-1}$ vermicompost, biofertilizer (inoculated seeds with *Azotobacter chroococcum* and *Azospirillum lipoferum*), 10 $t.ha^{-1}$ compost + 6 $t.ha^{-1}$ vermicompost, 20 $t.ha^{-1}$ compost + biofertilizer, 12 $t.ha^{-1}$ vermicompost + biofertilizer, 10 $t.ha^{-1}$ compost + 6 $t.ha^{-1}$ vermicompost + biofertilizer and control (without fertilizer). Studied traits were contained herb yield and percent, yield, and composition of essential oil. The essential oil extraction was done by the hydro-distillation method in Clevenger's apparatus, and essential oil composition was determined by gas chromatography (GC) and gas chromatography-mass spectrometry (GC/MS). Analysis of variance was conducted by SAS software, and the means were compared by the least significant difference test (LSD) at the 5% probability level.

Results and Discussion

Results showed that the highest herb yield (2601.6 $kg.ha^{-1}$), essential oil percent (0.20%), and essential oil

1- Associated Professor, Department of Agronomy, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran.
2- Graduated Student of Agronomy (M.Sc.), Department of Agronomy, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran.
3- Associated Professor, Department of Agronomy, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran.
*- Corresponding Author, Email: darzi@riau.ac.ir

yield (5.21 kg.ha^{-1}) were obtained in integrated application of 12 t.ha^{-1} vermicomposts and biofertilizer (nitrogen-fixing bacteria)(2 lit/ha). The maximum cis Pinocamphone percent (63.56%) and beta Phellandrene percentage (9.71%) and the minimum trans Pinocamphone percent (2.50%) in an essential oil by integrated using of 10 t.ha^{-1} compost, six t.ha^{-1} vermicomposts, and biofertilizer and the highest Valerianol percentage (5.36%) and Phytol percentage (2.19%) in essential oil with the application of 20 t.ha^{-1} compost were obtained.

Integrated application of vermicompost and biofertilizer through the high ability for absorption of mineral nutrients like N, P, and K by plants and then increase of biomass amount has a positive effect on essential oil content. Increased essential oil yield in treatment of the integrated application of vermicompost (12 t.ha^{-1}) and biofertilizer can be owing to the improvement of yield attributes such as; essential oil percentage and herb yield. Some studies have reported that the application of bio and organic fertilizers can increase the content and yield of essential oil in a few medicinal plants such as basil, chamomile, and coriander. Integrated application of bio and organic fertilizers through the improvement of biological activities of soil and nutrient elements absorption such as nitrogen and phosphorus, caused more growth and biomass production, which leads to improvement of the essential oil quality. Several studies have shown a beneficial effect on the essential oil composition of medicinal plants by the integrated application of bio and organic fertilizers.

Conclusion

Generally, the highest essential oil quantity with the integrated application of 12 t.ha^{-1} vermicomposts and biofertilizer and the highest essential oil quality with the integrated application of 10 t.ha^{-1} compost, six t.ha^{-1} vermicomposts and biofertilizer were obtained.

Keywords: Biofertilizer, Cis pinocamphone, Compost, Vermicompost

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

مقاله پژوهشی

تأثیر کودهای آلی بر ترکیب و عملکرد اسانس در کشت پایدار گیاه دارویی زوفا (*Hyssopus officinalis* L.)

محمدتقی درزی*[1]، بیژن صادقی نکو[2] و محمدرضا حاج سیدهادی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۱۱
تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۰۹/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۶

درزی، م.ت.، صادقی نکو، ب.، و حاج سیدهادی، م.ر.، ۱۴۰۱. تأثیر کودهای آلی بر ترکیب و عملکرد اسانس در کشت پایدار گیاه دارویی زوفا (*Hyssopus officinalis* L.). بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۱): ۶۸-۵۳.

چکیده

به‌منظور بررسی اثر کمپوست، ورمی‌کمپوست و باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن بر ترکیب اسانس در کشت پایدار گیاه دارویی زوفا، آزمایشی در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در هشت تیمار و سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی شرکت کشاورزی ران در شهرستان فیروزکوه در سال ۱۳۹۱ انجام گرفت. تیمارهای آزمایش شامل ۲۰ تن کمپوست در هکتار، ۱۲ تن ورمی‌کمپوست در هکتار، کود زیستی (تلقیح بذر با *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم*)، ۱۰ تن کمپوست + ۶ تن ورمی‌کمپوست در هکتار، ۲۰ تن کمپوست در هکتار + کود زیستی، ۱۲ تن ورمی‌کمپوست در هکتار + کود زیستی، ۱۰ تن کمپوست + ۶ تن ورمی‌کمپوست + کود زیستی و شاهد (عدم مصرف کود) بودند. صفات مورد مطالعه شامل عملکرد اندام رویشی و درصد، عملکرد و ترکیبات اسانس بودند. استخراج اسانس توسط روش تقطیر با آب و به‌کمک دستگاه کلونجر انجام شد و ترکیبات اسانس به‌وسیله گاز کروماتوگرافی و گاز کروماتوگرافی با طیف‌سنج جرمی تعیین شدند. تجزیه واریانس توسط نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها به‌وسیله آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که بیشترین عملکرد اندام‌های رویشی (۲۶۰۱/۶ کیلوگرم در هکتار)، درصد اسانس (۰/۲۰۰ درصد) و عملکرد اسانس (۵/۲۱ کیلوگرم در هکتار) در مصرف تلفیقی ۱۲ تن ورمی‌کمپوست و کود زیستی (۲ لیتر در هکتار) به‌دست آمد. بیشترین درصد سیس‌پینوکامفون (۶۳/۵۶٪) و درصد بتافلاندرن (۹/۷۱٪) و کمترین درصد ترانس‌پینوکامفون (۲/۵۰٪) در اسانس در مصرف تلفیقی ۱۰ تن کمپوست، ۶ تن ورمی‌کمپوست و کود زیستی و بیشترین درصد والریانول (۵/۳۶٪) و درصد فیتول (۲/۱۹٪) در اسانس در کاربرد ۲۰ تن کمپوست حاصل گردید. در مجموع بیشترین کمیت اسانس با کاربرد تلفیقی ۱۲ تن ورمی‌کمپوست و کود زیستی و بیشترین کیفیت اسانس با مصرف تلفیقی ۱۰ تن کمپوست، ۶ تن ورمی‌کمپوست و کود زیستی حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: سیس‌پینوکامفون، کمپوست، کود زیستی، ورمی‌کمپوست

مقدمه

مصرف کودهای آلی نظیر کمپوست و ورمی‌کمپوست در سیستم‌های کشاورزی پایدار ضمن حذف یا کاهش قابل ملاحظه کودهای شیمیایی، موجب تأمین مناسب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و بهبود شرایط فیزیکی و میکروبی خاک نیز می‌گردد (Arancon et al., 2004; Sharma, 2002). همچنین کاربرد کودهای زیستی نظیر *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم* علاوه‌بر تثبیت نیتروژن مولکولی موجود در اتمسفر از طریق تولید هورمون‌های رشد گیاهی موجب بهبود وضعیت

۱- دانشیار، گروه زراعت، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران.
۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد زراعت، گروه زراعت، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران.
۳- دانشیار، گروه زراعت، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: darzi@riau.ac.ir)
DOI:10.22067/agry.2021.20242.0

تغذیه و رشد گیاه در سیستم‌های پایدار می‌شوند (Elghadban et al., 2006; Mahfouz & Sharaf Eldin, 2007). با توجه به این که در تولید گیاهان دارویی در نظام‌های کشاورزی پایدار، کیفیت محصول تولیدی بیش از کمیت آن دارای اهمیت است (Kamayestany et al., 2015)، لذا بررسی واکنش گیاهان دارویی به روش‌های مدیریتی مختلف کشاورزی پایدار از جمله کاربرد کودهای آلی و زیستی در بهبود کیفیت گیاهان دارویی بدون استفاده از نهاده‌های شیمیایی، از اهمیت قابل توجهی برخوردار است.

از بین گیاهان دارویی می‌توان به زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) اشاره کرد که گیاهی خشبی و چند ساله از تیره نعناعیان است که منشأ آن آسیای صغیر گزارش شده و در مناطق مختلف آسیا، اروپا و آمریکا کشت می‌شود (Omidbaigi, 2000; Zheljazkov et al., 2012). برگ‌ها و سرشاخه‌های گل‌دار این گیاه معطر و حاوی اسانس هستند. مقدار اسانس زوفا کمتر از یک درصد بوده و پینوکامفون، مهم‌ترین ترکیبات متشکله اسانس آن می‌باشد (Omidbaigi, 2000; Pandey et al., 2014; Moghtader, 2014; Zheljazkov et al., 2012). این اسانس به‌عنوان طعم و عطردهنده در صنایع کنسرو سازی و نوشابه‌سازی و نیز در صنایع آرایشی و بهداشتی کاربرد فراوانی دارد. همچنین از اسانس زوفا در صنایع داروسازی برای مداوای سرفه و سرماخوردگی استفاده می‌شود (Kizil et al., 2010; Moro et al., 2011; Omidbaigi, 2000; Salehi Surmeghi, 2008). در رابطه با تحقیقات انجام گرفته درباره کاربرد کودهای آلی و زیستی بر میزان و کیفیت اسانس گیاهان دارویی، در پژوهشی روی گیاه دارویی زوفا، نشان داده شد که مصرف ۱۰ و ۱۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار به‌ترتیب سبب افزایش قابل ملاحظه میزان اسانس و عملکرد اسانس گردید (Yousefzadeh, 2018). او بیان داشت احتمالاً کاربرد ورمی‌کمپوست با بهبود شرایط خاکی و افزایش دسترسی به عناصر غذایی، محتوای اسانس را در گیاه افزایش داده است. در پژوهشی روی گیاه دارویی بابونه (*Matricaria chamomilla* L.)، مشاهده گردید که مصرف تلفیقی هشت تن ورمی‌کمپوست و کود زیستی نیتروکسین (دو لیتر در هکتار) سبب بهبود بارز عملکرد گل، مقدار و عملکرد اسانس و درصد کامازولن در اسانس شد (Haj Ali Araghi et al., 2019). آن‌ها افزایش کیفیت اسانس بابونه را به تأمین مناسب عناصر غذایی و متعاقب آن، بهبود گل‌دهی بابونه در اثر کاربرد کودهای آلی و زیستی مذکور، نسبت دادند. در تحقیقی روی گیاه دارویی مریم گلی (*Salvia officinalis* L.)، مشاهده گردید که کاربرد تلفیقی هشت تن ورمی‌کمپوست و باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، موجب افزایش عملکرد اندام رویشی، کمیت و کیفیت اسانس و عملکرد آن شد (Govahi et al., 2016; 2017). این پژوهشگران عنوان کردند که کاربرد ترکیبی کودهای آلی و زیستی مذکور با تأمین عناصر غذایی و تثبیت زیستی نیتروژن سبب سهولت و تسریع انجام واکنش‌های شیمیایی جهت تولید ترکیبات ترپنی اسانس و در نهایت، بهبود کمیت و کیفیت اسانس گردید. یافته‌های یک پژوهش روی همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.)، آشکار کرد که مصرف توأم شش تن ورمی‌کمپوست و نیتروکسین (دو لیتر در هکتار) سبب افزایش معنی‌دار عملکرد گل، عملکرد اسانس و کیفیت آن (درصد آلفا کادینول) گردید (Mojtabavi & Darzi, 2018). همچنین در تحقیقی روی گیاه زنیان (*Trachyspermum ammi* L.) ملاحظه شد که کاربرد ورمی‌کمپوست همراه با اسید هیومیک در مقایسه با شاهد موجب افزایش درصد تیمول و پاراسیمن در اسانس شد (Khalesro & Malekian, 2017). در تحقیقی روی گیاه بادرشبی (*Dracocephalum moldavica* L.) مشخص گردید که مصرف تلفیقی ۵۰ درصد کمپوست با ۵۰ درصد کود اوره سبب افزایش عملکرد اندام رویشی، میزان اسانس و عملکرد اسانس شد (Yousefzadeh et al., 2013). در پژوهشی هم روی رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) مشاهده گردید که دو تیمار مصرف تلفیقی ۳/۷۵ تن ورمی‌کمپوست و ۵ تن کمپوست و مصرف تلفیقی ۷/۵ تن ورمی‌کمپوست و کود زیستی حاوی باکتری *ازتوباکتر* (یک کیلوگرم ماده تلقیحی در هکتار)، موجب افزایش کیفیت اسانس (درصد آنتول) شد (Moradi et al., 2011). آنان اظهار داشتند که عرضه عناصر غذایی از منابع تلفیقی آلی و زیستی که متناسب با مراحل رشدی گیاه می‌باشد باعث افزایش میزان آنتول اسانس گردید. گزارش تحقیقی روی بادرشبی آشکار کرد که مصرف تلفیقی ۱۰ تن ورمی‌کمپوست و کود زیستی سبب افزایش کیفیت اسانس شد به‌طوری‌که درصد ژرانیال، نرال و نریل استات در اسانس به طرز چشمگیری افزایش یافت (Darzi & Haj Seyed Hadi, 2017). نتایج پژوهش سایر محققین روی گیاهان بادرشبی، رازیانه و ریحان (*Ocimum basilicum* L.) نیز بیانگر افزایش میزان اسانس و کیفیت آن در اثر کاربرد کودهای آلی و زیستی بود (Hussein et

; Akbari & Gholami, 2016; Asheghi et al., al., 2006 .(2018

هدف از انجام این پژوهش، تأثیر کاربرد کودهای آلی کمپوست و ورمی‌کمپوست و کود زیستی حاوی باکتری‌های *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم* بر ترکیب و عملکرد اسانس گیاه دارویی زوفا برای تعیین تیمار مناسب جهت افزایش کمیت و کیفیت اسانس بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در بهار سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۰ در مزرعه تحقیقاتی شرکت کشاورزی و دامپروری ران شهرستان فیروزکوه واقع در استان تهران که در عرض ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی و طول ۵۲ درجه و ۴۴ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۱۹۳۰ متر از سطح دریا واقع شده است به اجرا در آمد. میانگین بارش سالیانه ۲۹۶/۸ میلی متر و متوسط دما حدود هشت درجه سانتی‌گراد است. قبل از اجرای آزمایش ابتدا از خاک مزرعه (عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر) نمونه‌برداری انجام گرفت و مشخص گردید که بافت خاک لومی رسی، اسیدیته ۷/۶، هدایت الکتریکی ۱/۵۵ دسی زیمنس بر متر، ماده آلی ۱/۸۶ درصد، نیتروژن ۰/۱۲۷ درصد، فسفر ۰/۰۰۴۸ درصد و پتاسیم ۰/۰۷۲ درصد می‌باشد (جدول۱). بر اساس تجزیه کودهای آلی مورد استفاده، کمپوست دارای ۱/۲ درصد نیتروژن، ۰/۳۵ درصد فسفر و ۱/۲ درصد پتاسیم و ورمی-کمپوست حاوی ۲/۱۳ درصد نیتروژن، ۰/۶۷ درصد فسفر و ۳/۹ درصد پتاسیم بود (جدول ۱). آزمایش به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با هشت تیمار و سه تکرار انجام گرفت. تیمارهای آزمایش شامل ۲۰ تن کمپوست در هکتار، ۱۲ تن ورمی‌کمپوست در هکتار، کود زیستی (تلقیح بذر با *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم*)، ۱۰ تن کمپوست همراه با ۶ تن ورمی‌کمپوست در هکتار، ۲۰ تن کمپوست در هکتار همراه با کود زیستی، ۱۲ تن ورمی‌کمپوست در هکتار همراه با کود زیستی، ۱۰ تن کمپوست همراه با ۶ تن ورمی‌کمپوست و کود زیستی و شاهد (عدم مصرف کود) بودند. باکتری‌های مصرفی که از بخش بیولوژی خاک مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور تهیه گردیده، محلول‌های مجزا حاوی باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن بنام‌های *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم* بودند که در هر میلی‌لیتر از آن‌ها در حدود 10^8 باکتری فعال وجود داشت. بذر زوفا مورد استفاده در این تحقیق از کشور آلمان و توسط شرکت کشاورزی گیاه گستر اصفهان تهیه شده بود که دارای قوه نامیه ۹۰ تا ۹۵ درصد و وزن هزار دانه ۱/۰۳ گرم می‌باشد.

به‌منظور اجرای آزمایش، اندازه هر کرت به ابعاد ۲/۲۸ × ۳ متر و حاوی شش ردیف کاشت با فاصله بین ردیف ۳۸ سانتی‌متر و بین دو بوته ۱۵ سانتی‌متر لحاظ گردید. فاصله بین کرت‌ها یک متر و بین تکرارها دو متر در نظر گرفته شدند. در تاریخ چهاردهم اردیبهشت ماه جهت اعمال تیمارهای کمپوست، ورمی‌کمپوست و مخلوط کمپوست و ورمی‌کمپوست، در وسط هر خط کاشت، شیاری در سراسر پشته ایجاد گردید و مقادیر کودهای آلی در داخل شیار ریخته و سپس به‌وسیله شن‌کش به‌خوبی با خاک مخلوط شدند.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش، کمپوست و ورمی‌کمپوست

Table 1- Some physical and chemical characteristics of soil in experimental site, compost and vermicompost

نمونه Sample	بافت Texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS.m^{-1})	ماده آلی OM (%)	نیتروژن N (%)	فسفر P (%)	پتاسیم K (%)
خاک Soil	لومی رسی Loamy-Clay	7.6	1.55	1.86	0.127	0.0048	0.072
کمپوست Compost	-	6.7	10.9	51	1.2	0.35	1.2
ورمی‌کمپوست Vermicompost	-	8.5	1.8	45	2.13	0.67	3.9

کاشت زوفا در بیستم اردیبهشت انجام گرفت. بدین نحو که ابتدا بخشی از بذور مورد نیاز با دو محلول مجزا حاوی باکتری‌های *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم* به‌صورت منفرد به‌مدت ۱۵ دقیقه تلقیح شدند. سپس در شرایطی که آسمان صاف و آفتابی و دمای هوا در حدود ۱۴ درجه سانتی‌گراد بود، در سایه و در معرض هوا خشک گردیده و به‌همراه بذور سایر تیمارها (بدون تلقیح) در عمق دو سانتی‌متری خاک کشت شدند و بلافاصله آبیاری صورت گرفت. برای اطمینان از جوانه‌زنی و حفظ تراکم در حد مطلوب، در روی هر ردیف بذرها با

تراکم بیشتری کشت شده و سپس در مرحله شش برگـی تنـک و بـر اساس تراکم ۱۷/۵ بوته در مترمربع، تنظیم شدند (Soleymani & Pirzad, 2016). عملیات مبارزه با علف‌های هـرز مزرعـه در شـش نوبت به‌وسیله دست صورت گرفت. عملیـات آبیـاری کـه بـه‌صـورت سیستم آبیاری قطره‌ای بود، در ابتدا هر سه روز یک بار و پس از سـبز شدن بذور با توجه به شرایط اقلیمی منطقه هر شش تا هفت روز یک بار انجام گردید. برداشت زوفا در مرحله گل‌دهی کامل، در یک چین و در بیست و یکم شهریور ماه انجام شد. در این تحقیق، صفات عملکرد اندام‌های رویشی، مقدار اسـانس، عملکـرد اسـانس و درصـد سـیس-پینوکامفون، ترانس‌پینوکامفون، بتافلاندرن، تیمول، والریانول و فیتـول مورد بررسی قرار گرفتند. به‌منظور تعیین عملکرد اندام‌های رویشی در واحد سطح، از خطوط میانی هر کرت معادل یـک مترمربـع، بوتـه در مرحله گل‌دهی کامل به‌روش دستی برداشت گردید. سپس در هـوای آزاد و در سایه خشک گردیـده و بعـد وزن شـده و در پایـان عملکـرد اندام‌های رویشی در واحد سطح محاسبه گردیـد. بـرای انـدازه‌گیـری میزان اسانس، از هر کرت آزمایشی یک نمونـه ۱۰۰ گرمـی از پیکـره رویشی خشک شده در هوای آزاد، تهیه کرده که بعـد از خـرد کـردن، به‌مدت سه ساعت با استفاده از روش تقطیر با آب و با استفاده از حدود ۵۰۰ میلی لیتر آب مقطر و به‌وسیله دستگاه کلـونجر (Clevenger)، اسـانس‌گیـری گردیـد (Kapooer et al., 2004; Sefidkon, 2001). درصـد اسـانس نیـز پـس از رطوبـت‌زدایـی آب آن توسـط سولفات‌سدیم خشک، محاسبه گردید. همچنین برای محاسبه عملکرد اسانس، از حاصل‌ضرب عملکرد پیکره رویشی و میزان اسانس استفاده شد. جهت شناسایی اجـزای تشـکیل‌دهنـده اسـانس و تعیـین درصـد ترکیبـات عمـده موجـود در آن (شـامل سـیس‌پینوکـامفون، تـرانس-پینوکامفون، بتـافلانـدرن، تیمـول، والریـانول و فیتـول) بـه‌ترتیـب از دستگاه‌های کروماتوگرافی گازی با طیف‌سنج جرمـی[1] (GC/Mass) (مدل Agilent 5973، ساخت کشور آمریکا) و کروماتوگرافی گازی[2] (GC) (مدل Younglin Acme 6000، ساخت کشور کره جنوبی) پژوهشکده گیاهان دارویی جهاد دانشگاهی کرج استفاده گردید. پـس از تزریق اسانس به دستگاه‌های نام‌برده، شناسایی ترکیبـات تشـکیل-دهنده اسانس به کمک زمان بـازداری ترکیـب‌هـا، شـاخص بـازداری طیف جرمی و مقایسه این پارامترها با شاخص‌هـای موجـود در کتـاب مرجع (Adams, 2007) و با استفاده از طیف‌های جرمی ترکیب‌های استاندارد و اطلاعات موجود در کتابخانه کـامپیوتری صـورت گرفـت. درصد نسبی این ترکیب‌هـا نیـز بـا محاسـبه سـطوح زیـر منحنـی در کروماتوگرام‌ها محاسبه شد (Adams, 2007).

جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ استفاده گردید و مقایسه میانگین‌هـا توسـط آزمـون حـداقل اخـتلاف معنی‌دار[3] (LSD) در سطح احتمال پنج درصد، انجام گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد اندام رویشی

تأثیر تیمارهای مختلف بر عملکرد انـدام رویشـی در سـطح یـک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). مقایسه میـانگین تیمارهـا نشـان داد که عملکرد اندام رویشی در تیمار مصرف ۱۲ تن ورمی‌کمپوست همراه با کـود زیسـتی (۲۶۰۱/۶ کیلـوگرم در هکتـار) در مقایسـه بـا شـاهد (۹۸۸/۰ کیلوگرم در هکتار) در حدود دو و نیم برابر بیشتر بـود، امّـا بـا سایر تیمارهای کود آلی و زیستی اختلاف آمـاری نداشـت (جـدول ۳) که این موضوع می‌تواند تا حدود زیادی به تأثیرگذاری تقریباً یکسـان تیمارهای جداگانه و تلفیقی کودهای آلی و زیستی بر وزن خشک بوته و در نهایت، عملکرد اندام رویشـی، مربـوط باشـد. در همـین رابطـه، گواهی و همکاران (Govahi et al., 2017) نشان دادند که مصرف تلفیقی ۸ تن ورمی‌کمپوست و باکتری‌های تثبیـت کننـده نیتـروژن، موجب افزایش معنی‌دار عملکرد اندام رویشی در گیـاه مـریم گلـی در مقایسه با شاهد شد. آنان اظهار داشتند اثرات مثبت و هم‌افزایـی بـین ورمی‌کمپوست و باکتری از طریق تأثیر مثبت آن‌هـا بـر بسـتر رشـد، افزایش سطح ریشه و جذب بیشـتر عناصـر غـذایی، موجـب افـزایش فعالیت‌های فتوسنتزی، رشد و عملکرد گیاه مـی‌گردنـد. در پژوهشـی روی گیاه بابونه نیز مشاهده شد کـه مصـرف ۸ تـن ورمـی‌کمپوسـت همراه با کود زیستی نیتروکسین موجب بهبود قابل توجه عملکرد گـل گردیـد (Haj Ali Araghi et al., 2019). آن‌هـا بیـان داشـتند مصرف کود زیستی نیتروکسین در کنار ورمی‌کمپوست، علاوه‌بر تثبیت نیتروژن با کمک به افزایش جمعیت و فعالیت ریزجانداران مفید خاک در جهت فراهمی بیشتر عناصر معدنی عمل کرده و سبب بهبود رشد و عملکرد گل می‌شود.

1- Gas chromatography- mass spectrometry

2 - Gas chromatography

3- Least significant difference

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر کمپوست، ورمی‌کمپوست و کود زیستی بر صفات مورد مطالعه در گیاه زوفا

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) of effect of compost, vermicompost and biofertilizer on studied traits in hyssop

منابع تغییرات S. O. V	درجه آزادی d.f	عملکرد اندام رویشی Herb yield	درصد اسانس Essential oil percent	عملکرد اسانس Essential oil yield	درصد سیس پینوکامفون Cis pinocamphone percent	درصد ترانس پینوکامفون Trans pinocamphone percent	درصد بتافلاندرن Beta phellandrene percent	درصد تیمول Thymol percent	درصد والریانول Valerianol percent	درصد فیتول Phytol percent
تکرار Replication	2	136231.4 ^{ns}	0.0015 ^{ns}	0.5261 ^{ns}	2.3976 ^{ns}	0.4591 ^{ns}	1.2924 ^{ns}	0.1999 ^{ns}	0.2485 ^{ns}	0.0003 ^{ns}
تیمار Treatment	7	772283.4 **	0.0023 **	4.559 *	176.1 **	156.6 **	4.487 **	1.993 **	7.385 **	2.041 **
خطا Error	14	139714.08	0.0007	1.103	5.594	0.5028	0.5768	0.1246	0.1011	0.0024
ضریب تغییرات CV (%)		17.21	17.18	29.21	4.92	6.33	9.57	8.88	11.60	4.60

ns ، * و ** : به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, * and **: Non-significant and significant at the 5 and 1% levels of probability, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر کودهای آلی و زیستی بر خصوصیات کمی و کیفی اسانس زوفا

Table 3- Mean comparison of organic and bio-fertilizers effect on quantitative qualitative characteristics of hyssop essential oil

تیمار Treatments	عملکرد اندام رویشی Herb yield (kg.ha⁻¹)	درصد اسانس Essential oil percent (%)	عملکرد اسانس Essential oil yield (kg.ha⁻¹)	درصد سیس پینوکامفون Cis pinocamphone percent (%)	درصد ترانس پینوکامفون Trans pinocamphone percent (%)	درصد بتافلاندرن Beta phellandrene percent (%)	درصد تیمول Thymol percent (%)	درصد والریانول Valerianol percent (%)	درصد فیتول Phytol percent (%)
کمپوست Compost (20 t.ha⁻¹)	2308.9	0.123	2.81	35.84	3.80	7.34	3.28	5.36	2.19
ورمی‌کمپوست Vermicompost (12 t.ha⁻¹)	2218.1	0.153	3.38	51.02	7.47	6.76	4.56	2.82	1.29
کود زیستی Biofertilizer	2215.6	0.160	3.55	45.64	14.62	8.15	4.53	2.56	1.48
کمپوست + ورمی‌کمپوست Compost (10 t.ha⁻¹) + Vermicompost (6 t.ha⁻¹)	2108.3	0.176	3.80	47.76	19.47	8.49	2.92	1.65	0.10
کمپوست + کود زیستی Compost (20 t.ha⁻¹) + Biofertilizer	2377.1	0.176	4.11	48.33	19.26	8.83	4.95	1.79	0.17
ورمی‌کمپوست + کود زیستی Vermicompost (12 t.ha⁻¹) + Biofertilizer	2601.6	0.200	5.21	46.11	5.07	5.86	2.90	4.79	2.12
کمپوست + ورمی‌کمپوست + کود زیستی Compost (10 t.ha⁻¹) Vermicompost (6 t.ha⁻¹) + Biofertilizer	2554.9	0.176	4.70	63.56	2.50	9.71	4.49	0.84	0.49
شاهد Control	988.0	0.120	1.18	46.31	17.41	8.29	4.15	2.10	0.75
LSD value	654.5	0.048	1.83	4.14	1.24	1.33	0.61	0.55	0.08

نتایج دو تحقیق دیگر نیز مبین آن بود که مصرف تلفیقی ۵۰ درصد کمپوست با ۵۰ درصد کود اوره و کاربرد توأم ۶ تن ورمی-کمپوست و نیتروکسین، به‌ترتیب باعث افزایش معنی‌دار عملکرد اندام رویشی گیاه بادرشبی و عملکرد گل گیاه همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) شد (Yousefzadeh et al., 2013; Mojtabavi & Darzi, 2018).

درصد اسانس

تأثیر تیمارهای مختلف بر درصد اسانس در سطح یک درصد معنی‌دار گردید (p<0.01) (جدول ۲). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که میزان اسانس در تیمار مصرف ۱۲ تن ورمی‌کمپوست همراه با کود زیستی (۰/۲۰۰ درصد) در مقایسه با دو تیمار مصرف ۲۰ تن کمپوست (۰/۱۲۳ درصد) و شاهد (۰/۱۲۰ درصد) به‌ترتیب در حدود ۶۳ و ۶۷ درصد بیشتر بود، امّا با سایر تیمارهای کود آلی و زیستی اختلاف آماری نداشت (جدول ۳). سایر تیمارهای تلفیقی (کمپوست + ورمی‌کمپوست، کمپوست + کود زیستی و کمپوست + ورمی‌کمپوست + کود زیستی) نیز برتری معنی‌داری از نظر درصد اسانس نسبت به شاهد داشتند و این در حالی است که اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای منفرد کود آلی و زیستی با شاهد مشاهده نشد. از آنجائی که حضور عناصری نظیر نیتروژن و فسفر برای تشکیل اسانس ضروری می‌باشد (Loomis & Corteau, 1972)، لذا به نظر می‌رسد در تیمارهای ترکیبی و به‌ویژه تیمار مصرف تلفیقی ۱۲ تن ورمی-کمپوست و کود زیستی، کود آلی و زیستی دارای یک اثر مثبت و افزایشی روی هم بوده به‌طوری‌که کود آلی موجب بهبود فعالیت باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن موجود در کود زیستی شده و در مجموع، از طریق فراهمی جذب مطلوب فسفر و نیتروژن و نقشی که این عناصر در تولید کلروفیل و تأمین آنزیم‌های مورد نیاز گیاه دارند، باعث افزایش بافت‌های فتوسنتزی و متعاقب آن افزایش میزان اسانس شده است (Mohammadpour Vashvaei et al., 2015). در همین رابطه، در پژوهشی روی مرزه (*Satureja hortensis* L.) مشاهده شد که مصرف ترکیبی کودهای زیستی (نیتروکسین + بیوفسفر + بیوسولفور) موجب افزایش درصد اسانس شد (Gholami Sharafkhaneh et al., 2015). آنان اذعان داشتند که در تیمار تلفیقی به‌علت بهبود ویژگی‌های رشدی نظیر سطح برگ و ماده خشک گیاه، درصد اسانس نیز افزایش یافته بود. تحقیقات حاج علی عراقی و همکاران (Haj Ali Araghi et al., 2019) بر روی بابونه و درزی و حاج سیدهادی (Darzi & Haj Seyed Hadi, 2017) بر روی بادرشبی نیز بیانگر بهبود میزان اسانس در اثر مصرف به‌ترتیب ۸ تن ورمی‌کمپوست همراه با کود زیستی نیتروکسین و ۱۰ تن ورمی‌کمپوست بود. همچنین گواهی و همکاران (Govahi et al., 2016) نیز نشان دادند که مصرف تلفیقی ۸ تن ورمی‌کمپوست و باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن، موجب افزایش بارز میزان اسانس در گیاه مریم گلی شد. آنان اظهار داشتند که کاربرد ترکیبی کودهای آلی و زیستی مذکور با تأمین عناصر غذایی و تثبیت زیستی نیتروژن سبب سهولت و تسریع انجام واکنشهای شیمیایی جهت تولید ترکیبات ترپنی اسانس و در نهایت، میزان اسانس می‌گردند. در پژوهشی روی گیاه بادرنجبویه نیز مشاهده شد که مصرف تلفیقی کود آلی (۲۰ تن کود دامی) و کود زیستی (نیتروکسین) موجب بهبود قابل توجه مقدار اسانس گردید (Razipour et al., 2016). نتایج دو تحقیق دیگر روی گیاهان آویشن (*Thymus vulgaris* L.) و انیسون (*Pimpinella anisum* L.) نیز مبین آن بود که کاربرد ۱۰ تن ورمی‌کمپوست، باعث افزایش معنی‌دار میزان اسانس شد (Golami Ganje et Bahadori & Ghorbanian, 2018; al., 2019). این محققین اظهار داشتند کاربرد منابع آلی نسبت به منابع شیمیایی، شرایط بهتری را برای تولید اسانس در گیاه ایجاد می-کند، به‌طوری‌که افزودن ورمی‌کمپوست به خاک، ضمن ایجاد یک بستر مناسب برای رشد ریشه سبب افزایش رشد، تسریع واکنش‌های متابولیسمی، افزایش سنتز و تجمع متابولیت‌ها و در نهایت، بهبود میزان اسانس می‌شود. یافته‌های سایر پژوهشگران بر روی گیاهان مرزه، رازیانه و ریحان نیز بیانگر افزایش میزان اسانس در اثر کاربرد ورمی‌کمپوست و کود زیستی بود (Rezvani Moghaddam et al., 2013; Akbari & Gholami, 2016; Asheghi et al., 2018).

عملکرد اسانس

تأثیر تیمارهای مختلف در سطح پنج درصد بر عملکرد اسانس معنی دار بود (جدول ۲). عملکرد اسانس در تیمار مصرف ۱۲ تن ورمی‌کمپوست همراه با کود زیستی (۵/۲۱ کیلوگرم در هکتار) در

مقایسه با دو تیمار کاربرد ۲۰ تن کمپوست (۲/۸۱ کیلوگرم در هکتار) و شاهد (۱/۱۸ کیلوگرم در هکتار) به‌ترتیب در حدود ۸۵ و ۳۴۱ درصد بیشتر بود و با سایر تیمارهای کود آلی و زیستی تفاوت آماری نداشت (جدول ۳). از آنجائی که عملکرد اسانس تحت تأثیر مستقیم عملکرد خشک پیکره رویشی و میزان اسانس قرار دارد و این دو ویژگی نیز در تیمار کاربرد تلفیقی ۱۲ تن ورمی‌کمپوست و کود زیستی (باکتری‌های *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم*) به بیشترین مقدار خود رسید، لذا می‌توان انتظار داشت که عملکرد اسانس در این تیمار نیز بیشترین باشد. یافته‌های یک پژوهش بر روی مریم گلی نیز آشکار کرد که مصرف توأم ورمی‌کمپوست (۸ تن در هکتار) و باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن باعث افزایش قابل توجه عملکرد اسانس شد (Govahi et al., 2016). آن‌ها بهبود عملکرد اسانس را به اثر مثبت ورمی-کمپوست و باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن بر روی درصد اسانس و عملکرد خشک پیکره رویشی نسبت دادند. در پژوهشی دیگر روی گیاه بالنگو شهری (*Lallemantia iberica* Fischer & C.A. Meyer) مشخص شد که عملکرد اسانس در تیمارهای مصرف تلفیقی ۱۰ تن ورمی‌کمپوست و کود زیستی (باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و حل کننده فسفات) و کاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوست (۷۵ درصد)، کود زیستی و کود شیمیایی (۲۵ درصد) به طرز بارزی بیشتر از تیمار کود شیمیایی بود (Rezaei Chiyaneh et al., 2019). این محققین اظهار داشتند مصرف کودهای زیستی و آلی شرایط را برای جذب عناصر غذایی به‌خصوص نیتروژن و فسفر مهیا کرده و باعث افزایش درصد اسانس و متعاقب آن افزایش عملکرد اسانس شده است. نتایج تحقیقات زراعی بر روی گیاهان بادرشبی، رازیانه، بابونه، ریحان و همیشه بهار نیز مؤید این موضوع بود که کاربرد ورمی‌کمپوست و کود زیستی موجب بهبود بارز عملکرد اسانس گردید (Akbari & Darzi & Haj Seyed Hadi, 2017; Gholami, 2016; Haj Ali Araghi et al., 2019; Asheghi et al., 2018; Mojtabavi & Darzi, 2018).

درصد سیس‌پینوکامفون در اسانس

تأثیر تیمارهای مختلف در سطح یک درصد بر درصد سیس-پینوکامفون معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان‌دهنده تفاوت معنی‌داری در بین آن‌ها بود، به‌نحوی که درصد سیس-پینوکامفون در اسانس در تیمار مصرف تلفیقی ۱۰ تن کمپوست، ۶ تن ورمی‌کمپوست و کود زیستی (۶۳/۵۶ درصد) در مقایسه با سایر تیمارها به‌طور معنی‌داری برتری داشت و این برتری نسبت به تیمارهای ۲۰ تن کمپوست (۳۵/۸۴ درصد)، کود زیستی (۴۵/۶۴ درصد)، ۱۲ تن ورمی‌کمپوست همراه با کود زیستی (۴۶/۱۱ درصد) و شاهد (۴۶/۳۱ درصد) به مراتب بیشتر بود (جدول ۳). می‌توان اظهار داشت که مصرف توأم کودهای آلی (کمپوست و ورمی‌کمپوست) و زیستی (باکتری‌های *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم*) که از سلامت و ارزش کیفی بالایی برخوردار بوده، غنی از ریزجانداران مفید خاکزی، عناصر غذایی پر و کم مصرف بوده، با آزادسازی تدریجی عناصر غذایی، ضمن بهبود مناسب رشد گیاه و تأثیر مثبت احتمالی آن بر ترکیب اسانس، سبب افزایش درصد سیس‌پینوکامفون در اسانس گیاه زوفا شده و در نتیجه، کیفیت اسانس این گیاه را بهبود بخشید. در همین رابطه، در تحقیقی روی رازیانه آشکار شد که مصرف ترکیبی کودهای آلی و زیستی (۸ تن ورمی‌کمپوست و قارچ میکوریزا) سبب افزایش درصد آنتول در اسانس گردید (Akbari & Gholami, 2016). این پژوهشگران دریافتند که کاربرد تلفیقی کودهای آلی و زیستی مذکور از طریق تأثیر بر جذب عناصر غذایی و بهره‌گیری مطلوب از عوامل رشدی توسط گیاه رازیانه، موجب افزایش میزان آنتول در اسانس شده است. در پژوهشی روی بابونه نیز مشاهده گردید که مصرف ترکیبی ۸ تن ورمی‌کمپوست و کود زیستی نیتروکسین موجب افزایش درصد کامازولن اسانس شد (Haj Ali Araghi et al., 2019). آن‌ها افزایش کیفیت اسانس بابونه را به تأمین مناسب عناصر غذایی و متعاقب آن، بهبود گل‌دهی بابونه و اسانس آن در اثر کاربرد کودهای آلی و زیستی مذکور، نسبت دادند. در تحقیقی دیگر روی بادرشبی آشکار گردید که مصرف تلفیقی کود آلی و زیستی (۲۰ تن کود دامی و بیوسوپرفسفات) موجب افزایش کیفیت اسانس (درصد ژرانیل استات) شد (Miri & Darzi, 2018). سایر تحقیقات انجام گرفته روی گیاهان مریم گلی، بادرشبی، بابونه و گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) نیز مؤید افزایش کیفیت اسانس در اثر کاربرد تلفیقی کودهای آلی و زیستی است (Naguib, 2003; Hussein et al., 2006; Darzi & Haj Seyed Hadi, 2014; Govahi et al., 2017).

درصد ترانس‌پینوکامفون در اسانس

تأثیر تیمارهای مختلف کاربرد کودهای آلی و زیستی در سطح

یک درصد بر درصد ترانس‌پینوکامفون در اسانس معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها، تفاوت قابل توجهی را بین آن‌ها نشان داد، به‌نحوی که درصد ترانس‌پینوکامفون در تیمار مصرف تلفیقی ۱۰ تن کمپوست و ۶ تن ورمی‌کمپوست (۱۹/۴۷ درصد)، تفاوت آماری با تیمار کاربرد تلفیقی ۲۰ تن کمپوست و کود زیستی (۱۹/۲۶ درصد) نداشت، ولی در مقایسه با سایر تیمارها برتری قابل توجهی داشت به‌طوری که به‌ویژه نسبت به تیمار مصرف تلفیقی ۱۰ تن کمپوست، ۶ تن ورمی‌کمپوست و کود زیستی (۲/۵۰ درصد)، چند برابر آن بوده است (جدول ۳). افزایش درصد ترانس‌پینوکامفون در دو تیمار مصرف تلفیقی ۱۰ تن کمپوست، ۶ تن ورمی‌کمپوست و کود زیستی و نیز کاربرد توأم ۲۰ تن کمپوست و کود زیستی، علاوه‌بر تأثیر تغذیه‌ای کودهای آلی و زیستی مورد استفاده در تشکیل این ترکیب، می‌تواند به‌دلیل کاهش محسوس سایر اجزاء مهم اسانس، به‌ویژه سیس-پینوکامفون در این تیمار باشد. در همین ارتباط، در تحقیقی روی رازیانه مشاهده شد که مصرف ۱۰ تن ورمی‌کمپوست سبب افزایش درصد ترانس آنتول و کاهش درصد متیل کاویکول و لیمونن در اسانس در مقایسه با شاهد گردید (Mohammadi & Rezaei Chiyaneh, 2019). آن‌ها اظهار داشتند که دسترسی بهتر و بیشتر عناصر غذایی از طریق مصرف ورمی‌کمپوست، منجر به افزایش ترکیب اصلی اسانس (ترانس آنتول) شد. گزارش یک پژوهش روی گیاه زنیان نیز حاکی از آن بود که مصرف تلفیقی کودهای آلی (ورمی‌کمپوست و اسید هیومیک)، موجب افزایش درصد تیمول و پارا-سیمن در اسانس شد (Khalesro & Malekian, 2017). آنان اظهار داشتند که کاربرد نهاده‌های آلی با منشأ طبیعی، علاوه‌بر سازگاری بالا با محیط زیست، موجب بهبود خصوصیات کمّی و کیفی گیاه دارویی زنیان می‌شود. همچنین در پژوهشی روی رازیانه، نشان داده شد هنگامی که از کودهای زیستی به‌صورت تلفیقی با ورمی‌کمپوست استفاده شد، درصد آنتول در اسانس و کیفیت آن افزایش یافت (Moradi et al., 2011). در پژوهش‌های مرتبط با تأثیر مصرف کودهای آلی (دامی و ورمی‌کمپوست) روی گیاهان گشنیز، ریحان و انیسون، افزایش برخی ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس (به‌ترتیب آلفاپینن، بورنیل استات و آنتول) در اثر کاهش دیگر اجزاء آن (به‌ترتیب ژرانیل استات، بتاپینن و استراگول)، مورد تأکید قرار گرفته است (Darzi & Haj Seyed Hadi, 2013; Darzi et al., 2014; Rahmanian et al., 2017).

درصد بتافلاندرن در اسانس

نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس آزمایش (جدول ۲)، نشان داد که تأثیر تیمارهای مختلف کودهای آلی و زیستی در سطح احتمال یک درصد بر درصد بتافلاندرن در اسانس معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد که در بین تیمارها تفاوت معنی‌داری وجود داشت، به‌طوری‌که درصد بتافلاندرن در اسانس در تیمار مصرف تلفیقی ۱۰ تن کمپوست، ۶ تن ورمی‌کمپوست و کود زیستی (۹/۷۱ درصد) در مقایسه با پنج شاهد (۸/۲۹ درصد)، کاربرد کود زیستی (۸/۱۵ درصد)، مصرف ۲۰ تن کمپوست (۷/۳۴ درصد)، کاربرد ۱۲ تن ورمی‌کمپوست (۶/۷۶ درصد) و کاربرد تلفیقی ۱۲ تن ورمی‌کمپوست و کود زیستی (۵/۸۶ درصد) به‌ترتیب در حدود ۱۷، ۱۹، ۳۲، ۴۴ و ۶۶ درصد بیشتر بود و با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳). به نظر می‌رسد افزایش درصد بتافلاندرن در اسانس در تیمار مصرف توأم کمپوست، ورمی‌کمپوست و کود زیستی، به‌دلیل اثرات افزایشی و تشدیدکننده آن‌ها بر آزادسازی و جذب مطلوب عناصر معدنی و نیز نگه‌داری و دسترسی به‌موقع به آب و پیامد آن افزایش رشد و کیفیت اسانس (درصد بتافلاندرن) در پیکره رویشی گیاه زوفا باشد و این در حالی است که این افزایش بارز در درصد بتافلاندرن، در تیمارهای منفرد کود زیستی و کود آلی مشاهده نشد. به‌طور کلی، افزایش کمی ترکیبات اسانس در گیاهان در نتیجه فراهمی مناسب عناصر غذایی نظیر نیتروژن در افزایش زیست‌توده برگ می‌باشد که منجر به افزایش ظرفیت فتوسنتزی و در نتیجه، تأمین مواد مورد نیاز برای بیوسنتز ترکیبات اسانس خواهد شد (Ormeno & Fernandez, 2012). در پژوهشی روی رازیانه نیز مشاهده گردید که دو تیمار مصرف تلفیقی ورمی‌کمپوست و کمپوست و مصرف تلفیقی ورمی‌کمپوست و کود زیستی (حاوی باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن)، موجب افزایش درصد آنتول اسانس شد (Moradi et al., 2011). این پژوهشگران اذعان داشتند که عرضه عناصر غذایی از منابع تلفیقی آلی و زیستی که متناسب با مراحل رشدی گیاه می‌باشد باعث افزایش میزان آنتول و بهبود کیفیت اسانس گردید. در یک مطالعه زراعی روی گیاه همیشه‌بهار هم مشاهده شد که مصرف تلفیقی ۶ تن ورمی‌کمپوست و نیتروکسین، باعث افزایش معنی‌دار درصد آلفاکادینول در اسانس در مقایسه با تیمارهای مصرف منفرد ۱۲ و ۱۸ تن ورمی‌کمپوست شد (Mojtabavi & Darzi, 2018).

درصد تیمول در اسانس

تأثیر تیمارهای مختلف حاوی کودهای آلی و زیستی در سطح احتمال یک درصد بر درصد تیمول در اسانس معنی‌دار گردید (جدول ۲). بین تیمارهای مختلف از نظر درصد تیمول تفاوت قابل توجهی وجود داشت، به‌طوری‌که درصد تیمول در تیمار تلفیقی مصرف ۲۰ تن کمپوست و کود زیستی (۴/۹۵ درصد) در مقایسه با شاهد (۴/۱۵ درصد) و تیمارهای مصرف ۲۰ تن کمپوست (۳/۲۸ درصد)، کاربرد تلفیقی ۱۰ تن کمپوست و ۶ تن ورمی‌کمپوست (۲/۹۲ درصد) و مصرف تلفیقی ۱۲ تن ورمی‌کمپوست و کود زیستی (۲/۹۰ درصد) به‌طور معنی‌داری بیشتر بود، امّا با سایر تیمارها از جمله تیمار مصرف تلفیقی ۱۰ تن کمپوست، ۶ تن ورمی‌کمپوست و کود زیستی (۴/۴۹ درصد) اختلاف آماری نداشت (جدول ۳). بهبود درصد تیمول در تیمار مصرف تلفیقی کمپوست و کود زیستی، علاوه‌بر تأثیر تغذیه‌ای این دو منبع آلی و زیستی در تشکیل این ترکیب، می‌تواند به‌دلیل تقلیل محسوس سایر اجزای مهم اسانس، شامل سیس‌پینوکامفون و والریانول در این تیمار باشد. در همین ارتباط، در تحقیقی روی بادرشبی مشاهده شد که مصرف تلفیقی ۱۰ تن ورمی‌کمپوست و کود زیستی سبب افزایش درصد نرال و متعاقب آن کاهش درصد ژرانیول در اسانس گردید (Darzi & Haj Seyed Hadi, 2017). در یافته‌های سایر محققین هم در ارتباط با کاربرد کودهای آلی و زیستی روی گیاهان زنیان، به‌لیمو (*Lippia citriodora* Kunth) و همیشه بهار، افزایش برخی ترکیبات اسانس (به‌ترتیب تیمول، گاما المن و آلفا کادینول) در اثر تقلیل سایر اجزای آن (به‌ترتیب پارا سیمن، لیمونن و مورولن) مورد تأیید قرار گرفته است (Akbarinia et al., 2004; Ebadi et al., 2016; Mojtabavi & Darzi, 2018).

درصد والریانول و فیتول در اسانس

نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس آزمایش (جدول ۲)، نشان داد که تأثیر تیمارهای مختلف کودهای آلی و زیستی در سطح یک درصد بر درصد والریانول و فیتول در اسانس معنی‌دار بود. مقایسه میانگین تیمارها نیز، تفاوت محسوسی را بین آن‌ها نشان داد به‌طوری‌که بیشترین مقدار والریانول (۵/۳۶ درصد) و فیتول (۲/۱۹ درصد) در اسانس در تیمار کاربرد ۲۰ تن کمپوست مشاهده شد (جدول ۳). با توجه به کاهش معنی‌دار سایر اجزای مهم اسانس، نظیر سیس‌پینوکامفون، بتافلاندرن و تیمول در تیمار مصرف ۲۰ تن کمپوست، محتمل به‌نظر می‌رسد که این تقلیل، با افزایش درصد والریانول و فیتول در اسانس جبران شده باشد. در همین رابطه، در پژوهشی روی مریم گلی مشخص شد که مصرف ۸ تن ورمی‌کمپوست موجب کاهش درصد ۱ و ۸ سینئول اسانس و افزایش درصد آلفاتوجون اسانس گردید (Govahi et al., 2017). این مسئله به‌وضوح در یافته‌های سایر پژوهشگران روی گیاهان بابونه، ریحان، رازیانه و انیسون گزارش شده است (Anwar et al., 2005; Khalid et al., 2006; Moradi et al., 2011; Darzi et al., 2013; Haj Ali Araghi et al., 2019).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که مصرف تلفیقی کودهای آلی و زیستی به‌طور قابل توجه و مثبتی بر عملکرد، مقدار و ترکیب اسانس زوفا مؤثر بوده به نحوی که بیشترین عملکرد اندام رویشی، درصد اسانس و عملکرد آن در تیمار مصرف تلفیقی ۱۲ تن ورمی‌کمپوست و کود زیستی به‌دست آمد. همچنین بهترین کیفیت اسانس در تیمار تلفیقی کاربرد ۱۰ تن کمپوست، ۶ تن ورمی‌کمپوست و کود زیستی مشاهده شد که دارای بیشترین ترکیبات سیس-پینوکامفون (ترکیب غالب) و بتافلاندرن در اسانس زوفا بوده و از نظر ترکیب تیمول هم اختلاف آماری با تیمار برتر مربوطه نداشته است. طبیعی است که این افزایش در ترکیبات نام‌برده، منجر به کاهش محسوس در سایر اجزای اسانس شامل ترانس‌پینوکامفون، فیتول و والریانول در تیمار ترکیبی کاربرد ۱۰ تن کمپوست، ۶ تن ورمی-کمپوست و کود زیستی شده است. در مجموع، به نظر می‌رسد که در تحقیق حاضر، کاربرد تلفیقی کودهای آلی و زیستی از طریق فراهمی مناسب عناصر غذایی منجر به افزایش زیست‌توده و ظرفیت فتوسنتزی شده و با تأمین مواد مورد نیاز گیاه زوفا، موجب بهبود درصد اسانس و ترکیبات آن شده است.

سپاسگزاری

بدین وسیله از مدیر و کلیه کارکنان شرکت کشاورزی و دامپروری ران در شهرستان فیروزکوه که صمیمانه ما را در انجام این تحقیق یاری نموده‌اند، تشکر می‌کنیم.

References

Adams, R.P., 2007. Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry, Fourth ed. Allured Publishing Corporation, Illinois.

Akbari, I., and Gholami, A., 2016. Evaluation of mycorrhizal fungi, vermicompost and humic acid on essence yield and root colonization of fennel. Iranian Journal of Field Crops Research 13: 840-853. (In Persian with English Summary)

Akbarinia, A., Ghalavand, A., Sefidkon, F., Rezaee, M.B., and Sharifi Ashoorabadi, E., 2004. Study on the effect of different rates of chemical fertilizer ,manure and mixture of them on seed yield and main, compositions of essential oil of Ajowan (*Trachyspermum copticum*). Pajouhesh and Sazandegi 61: 32-41. (In Persian with English Summary)

Anwar, M., Patra, D.D., Chand, S., Alpesh, K., Naqvi, A.A., and Khanuja, S.P.S., 2005. Effect of organic manures and inorganic fertilizer on growth, herb and oil yield, nutrient accumulation, and oil quality of French basil. Communications in Soil Science and Plant Analysis 36: 1737-1746.

Arancon, N., Edwards, C.A., Bierman, P., Welch, C., and Metzger, J.D., 2004. Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. Effects on growth and yields. Bioresource Technology 93: 145-153.

Asheghi, P., Darzi, M.T., and Haj Seyed Hadi, M.R., 2018. Effects of organic and bio-fertilizers on biomass yield and quantity and quality of essential oil of green basil (*Ocimum basilicum* L.) in Firouzkuh region. Iranian Journal of Horticultural Science 49: 199-211. (In Persian with English Summary)

Bahadori, F., and Ghorbanian, D., 2018. Evaluation of vermicompost and arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomus intraradices*) efficiency on essential oil and dry herb yield of *Thymus vulgaris* in the field conditions. Plant Productions Technology 18: 81-91. (In Persian with English Summary)

Darzi, M.T., Haj Seyed Hadi, M.R., and Rejali, F., 2013. Effects of vermicompost and phosphatic biofertilizer application on quantity and quality of essential oil in anise (*Pimpinella anisum* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 29: 583-594. (In Persian with English Summary)

Darzi, M.T., and Haj Seyed Hadi, M.R., 2014. Response of concentration and composition of essential oil of coriander (*Coriandrum sativum* L.) to cattle manure and nitrogen fixing bacteria. Ethno-Pharmaceutical Products 1: 35-42.

Darzi, M.T., and Haj Seyed Hadi, M.R., 2017. The effects of manure, vermicompost, nitroxin and bio-superphosphat application on quantity and quality of essential oil of dragonhead. Crops Improvement 19: 543-560. (In Persian with English Summary)

Darzi, M.T., and Miri, H., 2018. Effects of manure and phosphate solubilizing biofertilizer on growth, yield and essential oil quality of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) in Firouzkuh region. Iranian Journal of Field Crop Science 49: 35-45. (In Persian with English Summary)

Darzi, M.T., and Mojtabavi, K., 2018. Effects of vermicompost and nitroxin application on flower yield, yield components and essential oil quality of marigold (*Calendula officinalis* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 33: 1034-1046. (In Persian with English Summary)

Ebadi M.T., Azizi, M., Sefidkon, F., and Ahmadi, N., 2016. Effects of organic and chemical fertilizers on leaf yield, percent and essential oil components of *Lippia citriodora* Kunth. Journal of Horticultural Science 30: 293-302. (In Persian with English Summary)

El Ghadban, E.A.E., Shalan, M.N., and Abdel, L.T.A.T., 2006. Influence of biofertilizers on growth, volatile oil yieldand constituents of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). Egyptian Journal of Agricultural Research 84: 977-992.

Gholami Ganje, S., Salehi, A., Shahrasbi, S., and Amirinasab, A.M., 2019. Evaluation the effect of vermicompost different levels and mycorrhiza fungi on yield and essential oil production of Anise (*Pimpinella anisum* L.). Iranian Journal of Horticultural Science 50: 325-335. (In Persian with English Summary)

Gholami Sharafkhaneh, E., Jahan, M., Banayan Avval, M., Koocheki, A.R., and Rezvani Moghaddam, P., 2015. The effect of organic, bio and chemical biofertilizers on some agroecological characteristics, yield and essential oil of *Satureja hortensis* L. in Mashhad conditions. Journal of Agroecology 7: 179-189. (In Persian with English Summary)

Govahi, M., Ghalavand, A., Nadjafi, F., and Sorooshzadeh, A., 2016. Effects of different soil fertility systems on some physiological characteristics, yield and essential oil of sage (*Salvia officinalis* L.) under different irrigation regimes. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 32: 333-345. (In Persian with English Summary)

Govahi, M., Ghalavand, A., Nadjafi, F., and Sorooshzadeh, A., 2017. Effects of vermicompst, bio and nitrogen fertilizers on quantitative and qualitative yield of sage (*Salvia officinalis* L.) under different humidity condition. Journal of Agroecology 9: 445-457. (In Persian with English Summary)

Haj Ali Araghi, M., Darzi, M.T., and Haj Seyed Hadi, M.R., 2019. Integrated application of vermicompost and nitroxin and quantitative and qualitative characteristics of germanchamomile (*Matricaria chamomilla* L.). Journal of Agriculture Science and Sustainable Production 29: 85-99. (In Persian with English Summary)

Hussein, M.S., El-Sherbeny, S.E., Khalil, M.Y., Naguib, N.Y., and Aly, S.M., 2006. Growth characters and chemical constituents of *Dracocephalum moldavica* L. plants in relation to compost fertilizer and planting distance. Scientia Horticulturae 108: 322-331.

Kamayestani, N., Rezvani Moghaddam, P., Jahan, M., and Rejali, F., 2015. Effects of separated and integrated application of bio and organic fertilizers on some quantitative and qualitative characteristics of anise (*Pimpinella anisum* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 13: 62-70. (In Persian with English Summary)

Kapoor, R., Giri, B., and Mukerji, K.G., 2004. Improved growth and essential oil yield and quality in *Foeniculum vulgare* Mill on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer. Bioresource Technology 93: 307-311.

Khalesro, S., and Malekian, M., 2017. Effects of vermicompost and humic acid on morphological traits, yield, essential oil content and component in organic farming of ajwan (*Trachyspermum ammi* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 32: 968-980. (In Persian with English Summary)

Khalid, K.H.A., Hendawy, S.F., and El Gezawy, E., 2006. *Ocimum basilicum* L. production under organic farming. Research Journal of Agriculture and Biological Sciecnes 2: 25-32.

Kizil, S., Hasimi, N., Tolan, V., Kilinc, E., and Karatas, H., 2010. Chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) essential oil. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca 38: 99-103.

Loomis, W.D., and Corteau, R., 1972. Essential oil biosynthesis. Recently Advance in Phytochemistry 6: 147-185.

Mahfouz, S.A., and Sharaf Eldin, M.A., 2007. Effect of mineral vs. biofertilizer on growth, yield, and essential oil content of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill). International Agrophisics 21: 361-366.

Moghtader, M., 2014. Comparative evaluation of the essential oil composition from the leaves and flowers of *Hyssopus officinalis* L. Journal of Horticulture and Forestry 6: 1-5.

Mohammadi, H., and Rezaei Chiyaneh, E., 2019. Effect of vermicompost application on seed yield and quality in fababean (*Vicia faba* L.) and fennel (*Foeniculum vulgare* L.) intercropping. Iranian Journal of Crop Sciences 21: 139-154. (In Persian with English Summary)

Mohammadpour Vashvaei, R., Galavi, M., Ramroodi, M., and Fakheri, B.A., 2015. Effects of drought stress and biofertilizers inoculation on growth, yield and essential oil compositions of thyme (*Thymus vulgaris* L.). Journal of Agroecology 7: 237-253. (In Persian with English Summary)

Mojtabavi, K., and Darzi, M.T., 2018. Effects of vermicompost and nitroxin application on flower yield, yield components and essential oil quality of marigold (*Calendula officinalis* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 33: 1034-1046. (In Persian with English Summary)

Moradi, R., Nassiri Mahallati, M., Rezvani Moghaddam, P., Lakzian, A., and Nejad Ali, A., 2011. The effect of application of organic and biological fertilizers on quantity and quality of essential oil in fennel (*Foeniculum vulgare*). Journal of Horticultural Science 25: 25-33. (In Persian with English Summary)

Moro, A., Zalacain, A., De Mendoza, J.H., and Carmona, M., 2011. Effects of agronomic practices on volatile composition of *Hyssopus officinalis* L. essential oils. Molecules 16: 4131-4139.

Naguib, N.Y., 2003. Impact of mineral nitrogen fertilizer and organic compost on growth, herb and chemical composition of german chamomile (*Chamomilla recutita* L.). Egyptian Journal of Applied Science 18: 301–323.

Omidbaigi, R., 2000. Production and Processing of Medicinal Plants. Volume 3, Behnashr Co. 397 p. (In Persian)

Ormeno, E., and Fernandez, C., 2012. Effect of soil nutrient on production and diversity of volatile terpenoids from plants. Current Bioactive Compounds 8: 71-79.

Pandey, V., Verma, R.S., Chauhan, A., and Tiwari, R., 2014. Compositional variation in the leaf, flower and stem essential oils of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) from western-himalaya. Journal of Herbal Medicine 4: 89-95.

Rahmanian, M., Esmaielpour, B., Hadian, J., Shahriari, M.H., and Fatemi, H., 2017. The Effect of organic fertilizers on morphological traits, essential oil content and components of basil (*Ocimum basilicum* L.). Journal of Agriculture Science and Sustainable Production 27: 103-118. (In Persian with English Summary)

Razipour, P., Golchin, A., and Daghestani, M., 2016. Effects of different levels of cow manure and inoculation with nitroxin on growth and performance of *Melissa officinalis* L. Iranian Journal of

Medicinal and Aromatic Plants 32: 807-823. (In Persian with English Summary)

Rezaei Chiyaneh, E., Faridvand, S., Amirnia, R., Mahdavikia, H., and Rahimi, A., 2019. Effect of organic and biofertilizers on yield and some qualitative characteristics of the dragon's head (*Lallemantia iberica*) in dryfarming conditions. Journal of Agriculture Science and Sustainable Production 28: 25-40. (In Persian with English Summary)

Rezvani Moghaddam, P., Amin Ghafouri, A., Bakhshaei, S., and Jafari, L., 2013. Effects of bio and organic fertilizers on some quantitative traits and essential oil content of summer savory (*Satureja hortensis* L.). Journal of Agroecology 5: 105-112. (In Persian with English Summary)

Salehi Surmeghi, M.H., 2008. Medicinal Plants and Phytotherapy. Volume 2, Doniaye Taghzieh. 377 p. (In Persian)

Sefidkon, F., 2001. Evaluation of qualitative and quantitative essential oil fennel (*Foeniculum vulgare* Mill) in different stages of growth. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 7: 85-104. (In Persian with English Summary)

Sharma, A.K., 2002. Biofertilizers for Sustainable Agriculture. Agrobios, India, 407 p.

Soleymany, F., and Pirzad, A.R., 2016. The effect of mycorrhizal fungi on the oxidant enzymes activity in the medicinal herb, hyssop, under water deficit conditions. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 31: 1013-1023. (In Persian with English Summary)Yousefzadeh, S., Modarres-Sanavy, S.A.M., Sefidkon, F., Asgarzadeh, A., Ghalavand, A., Roshdi, M., and Safaralizadeh, A., 2013. Effect of biofertilizer, azocompost and nitrogen on morphologic traits and essential oil content of *Dracocephalum moldavica* L. in two regions of Iran. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 29: 438-459. (In Persian with English Summary)

Yousefzadeh, S., 2018. Effects of vermicompost levels application on some agromorphological traits, photosynthetic pigments and essential oil content of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.). Journal of Crop Production 11: 131-137. (In Persian with English Summary)

Zheljazkov, V.D., Astatkie, T., and Hristov, A.N., 2012. Lavender and hyssop productivity, oil content, and bioactivity as a function of harvest time and drying. Industrial Crops and Products 36: 222-228.